

# 配电网中的矩阵故障定位方法

陈文业

(广东电网集团佛山三水供电局, 广东 佛山 528000)

**摘要:**故障定位是配网自动化的一个重要研究方向,介绍了故障定位统一矩阵算法的方法和物理意义。针对统一矩阵算法的不足之处,结合三水地区配电网的具体特点,引入另一种简化矩阵算法,并通过具体算例证明了该算法的正确性。最后对改进矩阵算法进行分析并提出改进之处。

**关键词:**配电网;故障定位;矩阵算法

**Abstract:** Fault location is an important research in distribution automation. The method for fault location based on unified matrix algorithm is introduced as well as its physical meaning. Aiming at the short points of the unified matrix algorithm and combined with the detailed situation of distribution network in Sanshui district, another simplified matrix algorithm is introduced and its validity has been proven. Finally, the improved matrix algorithm is analyzed and the improvement is proposed.

**Key words:** distribution network; fault location; matrix algorithm

**中图分类号:** TM711 **文献标识码:** B **文章编号:** 1003-6954(2009)04-0077-03

配电网自动化的一个重要研究方向是故障定位,根据配电网的运行特点以及故障类型,故障定位需要解决以下情况下的问题,包括辐射状网故障、树状网故障、环网开环运行故障、环网闭环运行故障、多电源多重故障、末端故障等。

针对故障定位目前已经有多种算法和解决方法,各种算法都有其可行性,但是在涵盖各种故障情况的通用性方面未能尽人意。传统的定位方法有阻抗法、行波法等,近年来随着计算机技术的发展涌现出神经网络、小波包分析等新方法。矩阵定位方法吸取了传统方法的经验,并和计算机技术结合起来,利用计算机数学工具的强大功能,成为配电网故障定位研究方法的重要分支。

## 1 矩阵判据的统一矩阵方法

配电网故障定位矩阵算法的基本原理是生成网络描述矩阵和故障信息矩阵,通过某种运算方式形成判别矩阵,判别矩阵反映网络的拓扑结构与故障点的信息,不同的算法对判断矩阵进行采取不同的运算,结合实际物理意义定位故障区间。网络描述矩阵描述配电网的网络拓扑信息,配电网一经确定即固定,反映网络的基本结构;故障信息矩阵则描述配电网的实时信息,根据配电网实际发生故障的各种不同情况

而变化,两个矩阵具体的生成方法如下<sup>[1]</sup>。

网络描述矩阵  $D$  是将馈线上的断路器、分段开关和联络开关进行编号。设  $N$  有个节点,则可以构造一个  $N$  维方阵。若节点  $i$  和节点  $j$  之间存在一条馈线,则位于第  $i$  行第  $j$  列的元素和第  $j$  行第  $i$  列的元素均置 1,并称这两个节点为相邻节点;反之在不存在馈线连接的节点所对应的元素均置 0。可见  $D$  是一对称方阵。

故障信息矩阵  $G$  的定义为:先给馈线确定一个正方向,即假设配电网仅由一个电源供电(该电源可任选),馈线的正方向是由该电源向全网供电的功率方向。如果节点  $i$  的开关经历了超过整定值的故障电流,并且其方向与网络正方向相同,则故障信息矩阵的第  $i$  行第  $i$  列的元素置 0,对不能同时满足上述两个条件的节点  $i$  将第  $i$  行第  $i$  列的元素置 1。故障信息矩阵的其他元素均置 0。实际上  $G$  为一对角矩阵,非对角线元素为 0,对角线元素当为故障点且故障电流方向与假设方向一致时  $G_{ii} = 0$ ,否则  $G_{ii} = 1$ 。

将网络描述矩阵  $D$  和故障信息矩阵  $G$  相乘之后得到矩阵  $P'$ ,再对  $P'$  进行规格化就得到故障判断矩阵  $P$ ,即  $P = g(P') = g(DG)$ 。其规格化的操作如下:

若  $D$  中的元素  $D_{m,j}, D_{n,j}, \dots, D_{k,j}$  为 1 并且  $G$  中的  $G_{jj} = 1$  时,需对  $P'$  的第  $j$  行和第  $j$  列的元素进行规格

化处理,做法是若  $G_{mm}, G_{mn}, \dots, G_{kk}$  至少有两个为 0,需将  $P$  的第  $j$  行和第  $j$  列的元素均置 0 否则  $P$  中的相应的元素值不变。从故障判断矩阵  $P$  中定位出故障区段的方法如下:若  $P$  中元素  $(P_{ij}) \text{XOR} (P_{ji}) = 1$ , 则故障在馈线上第  $i$  节点和第  $j$  节点之间。

对于树状网,故障区段显然位于从电源到末梢方向第一个未经历故障电流的节点和最后一个经历了故障电流的节点之间。根据网络描述矩阵和故障信息矩阵的定义以及故障判断矩阵的得出方式,如果一条馈线段的一个节点经历了故障电流而另一个节点未经历故障电流,则在故障判断矩阵中这两个节点对应的两个元素必然不相同;而若该馈线段的两个节点均经历了故障电流或均未经历故障电流,则在故障判断矩阵中这两个节点对应的两个元素必然相同。为此在根据故障判断矩阵进行故障区段判断时,必须采用异或算法。

规格化实际上反映的是这样的物理含义<sup>[2]</sup>:假设故障是单一的,若一个未经历故障电流的节点的所有相邻节点中至少存在两个节点经历了故障电流,则该节点不构成故障线段的一个节点。

## 2 简化后的矩阵算法

上述的统一算法虽然有其优点,但是在解决某些情况下的故障时还是显得不够完整,特别是需要进行矩阵的相乘运算,为防止误判还要进行规格化处理,计算量大而且处理时间长。在三水配电网多年的运行经验基础上,根据对该电网的特点分析,可以对故障情况做部分简化,从而可以在运算量和完整性方面加以改进。这里的算法是基于以下事实和假设。

(1)三水地区配电网线路基本上都是单电源供电,即使是重要负荷的双电源供电也是通过备自投装置联系,在任一运行时刻相当于单电源供电;

(2)三水地区配电网线路不长,节点不多,构建的网络矩阵比较简单,运算量小;

(3)三水地区配电网自动化系统建设未及完善,所假设配电线路故障点信号均能在自动化系统得到充分完善的情况下获得。

### 2.1 构建配电网的拓扑结构矩阵

根据配电网的特点,网络在拓扑结构上可以看成一棵“树”,电源为树根,馈线为树枝,是以分支关系确定的层次结构<sup>[3]</sup>。利用有向树模型,以线路为单位将线路上各监控点(分段开关、断路器、联络开关)按顺序编号,如果节点  $i$  有子节点  $j$  则  $D_{ij} = 1$ , 否则

$D_{ij} = 0$ 。对于网络终端开关对应的节点,因在网络中无节点,则该节点对应行元素为 0。

### 2.2 引入故障电流信息矩阵

配电网发生故障时,根据各节点是否有故障过电流通过来得到故障信息,从而形成网络的故障信息矩阵  $F$ 。一个具有  $n$  个节点的网络对应的故障信息矩阵,是一个  $n \times n$  对角矩阵,其元素形成规则如下:若第  $i$  节点存在故障过电流,则该节点对应的对角元素  $F_{ii} = 1$ , 否则  $F_{ii} = 0$ 。

### 2.3 故障定位的判断依据

引入故障区间判断矩阵,定义<sup>[4]</sup>为:

$$S = D + F$$

故障判断规则为故障区间对应的父节点有故障电流,而所有的子节点电流均没有故障电流,引入判断规则:当  $S_{ii} = 1$  时,则计算

$$A_i = \sum_{j \neq i} S_{ij} |_{S_{ij}=1}$$

如果,结果  $A=0$ , 则以  $i$  为父节点的馈线区间为故障区间,反之,结果  $A \neq 0$ , 则以  $i$  为父节点的馈线区间为非故障区间。

## 3 应用实例

以三水地区 110 kV 范湖变电站 10 kV 出线 713 赤岗线为例,该线路的简化模型如图 1 所示。

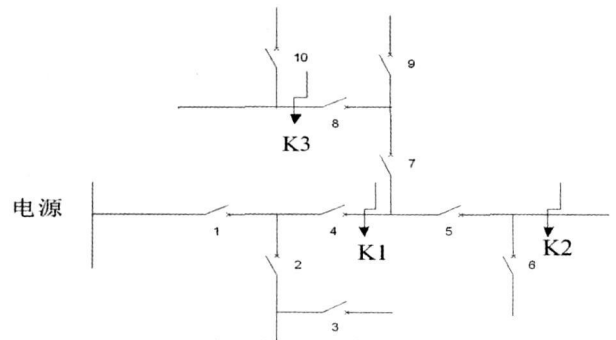


图 1 110 kV 范湖站 713 赤岗线简化模型

根据结构矩阵的生成方法,可得网络矩阵  $D$  为

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

考虑单重故障的情况, 当 K1 点发生故障时,

$$F = \text{diag} [ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 ]$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$A_1 = S_{22} + S_{44} = 1; A_4 = S_{55} + S_{77} = 0$ , 可见线路故障发生在以节点 4 为父节点的区间上。

考虑配电网发生多重故障的情况, 当 K2 和 K3 点同时发生故障时, D 不变,

$$F = \text{diag} [ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0 ]$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$A_1 = S_{22} + S_{44} = 1; A_4 = S_{55} + S_{77} = 2; A_5 = S_{66} = 0; A_7 = S_{88} + S_{99} = 1; A_8 = S_{10} = 0$ , 可见故障发生在以节点 5 和节点 8 为父节点区间上, 为双重故障。

## 4 算法分析与改进

通过算例分析, 知道该算法适合于配电网单电源供电的线路, 对于比较复杂的供电情况, 需要对算法作进一步的改进, 因此提出以下几点分析意见。

(1) 由于在配电网中一般不允许环网运行<sup>[5]</sup>, 因此对于多电源供电的线路, 在某一时刻, 实际上相当于解列的单电源供电。

(2) 故障区间定位的准确性和快速性取决于各监控点反馈的故障信号, 从理论上监控点越多定位就越快速和越准确, 考虑到投资成本和算法运行时间,

需要对监控点的分布作科学规划。

(3) 由于故障可能发生在整个网络中的任何地方, 因此在图 1 所示的网络中, 有可能会出现节点 1 后的区间和节点 4 后的区间同时出现故障的情况, 在此情况下, 节点 4 不会出现故障电流, 根据其反馈信息得到的故障矩阵便不能正确反应网络当时的故障情况, 对故障区间的定位会造成一定的影响。不过在实际的生产运行中, 这样的情况出现的机会是相当小的, 而且可以通过故障区间的二次定位来补充。

(4) 从算例可以看出, 一条线路上两条支路的故障等价于两条不同线路的单重故障。这为计算变电站中同一母线的有 10 kV 出线的故障定位提供了方法。按照单条线路的方法, 依靠强大的数学软件例如 Matlab 等, 可以快速地完成数学运算, 达到故障定位的准确、快速。

## 5 结束语

配电网故障区域定位的矩阵算法着眼于馈线区域和节点的关联拓扑联接关系, 通过建立配电网结构拓扑矩阵和故障矩阵, 经过矩阵运算, 得到故障区间的判定矩阵, 可直观地定位出故障区域, 借助功能强大的数学运算工具, 完全可满足在线应用的要求。

以上介绍的矩阵算法是基于三水地区配电网特点的基础上简化改进而来, 能够适合目前三水配电网的要求, 对于更复杂和庞大的配网, 需要作进一步的分析改进。

## 参考文献

- [1] 朱发国, 孙德胜, 等. 基于现场监控终端的线路故障定位优化矩阵算法 [J]. 电力系统自动化, 2000, 24(15): 42-44.
- [2] 刘健, 倪建立, 杜宇. 配电网故障区段判断和隔离的统一矩阵算法 [J]. 电力系统自动化, 1999, (1): 31-33.
- [3] 严蔚敏, 吴伟明. 数据结构 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1999.
- [4] 吴薛红, 郑梅等. 配电网故障区间定位的新型矩阵算法 [J]. 南京师范大学学报 (工程技术版), 2003, 3(2): 54-56.
- [5] 张钊. 配电网故障定位的通用矩阵算法 [J]. 电力自动化设备, 2005, 25(5): 40-43.

(收稿日期: 2009-02-01)